

Miszellen Tagungen Veranstaltungen

Terrafame – das Biohaldenprojekt der Erzlagerstätte Talvivaara (Finnland)

Eine der weltweit größten Produktionslinien für Chemikalien, die in Batterien für Elektroautos verwendet werden, ist das finnische Unternehmen Terrafame, das als integrierter und energieeffizienter Industriestandort von der Mine bis zu den Batteriechemikalien in der Lage ist, Nickelsulfat für rund 1 Mio. Elektroautos pro Jahr zu produzieren – ein hochtechnologisch und kostengünstig organisierter Betrieb mit ca. 560 Mitarbeitern. Weitere 1.100 Menschen sind als Beschäftigte in Partnerunternehmen tätig. Die Anlage reklamiert für sich den Anspruch, eine rückverfolgbare und nachweisbar europäische Lieferkette für Batteriechemikalien vorzulegen.

Diese Wirtschaftseinheit im Verbund mit der größten Nickelmine in Finnland, Talvivaara, gehört seit 2015 der staatlich gegründeten Firma Terrafame. Sie hatte sie übernommen, nachdem der 2008 geöffnete Betrieb durch mehrere Lecks von mit giftigen Metallen kontaminierten Rückständen die örtliche Umwelt (Gewässer) erheblich belastet hatte und in Konkurs gegangen war. Mitglieder der Betriebsführung wurden wegen Verstößen gegen Umweltauflagen angeklagt. Die Mine liegt ca. 540 km nord-östlich von Helsinki bzw. 350 km südlich des Polarkreises in Sotkamo (Region Kainuu). Das Klima weist extreme jahreszeitliche Temperatur- und Lichtschwankungen auf, im Winter bis zu $-20/-30^{\circ}\text{C}$. Die mittlere Jahrestemperatur liegt bei $1,0^{\circ}\text{C}$.

Die Produktionskapazität der Mine beträgt p.a. 10 Mio. t Erz, wobei die Reserven bei 1 Mrd. t mit einem Gehalt von 0,22 % Nickel, 0,13 % Kupfer, 0,05 % Zink und 0,02 % Kobalt prospektiert und nachgewiesen wurden (bei vergleichbaren Metallgehalten). Konkretes Produktionsergebnis dieser Ressourcen sind derzeit p.a. 2,2



Abb. 1: Erztransportkipper. (© Foto: Lorenz Rothe)

Mio. t Nickel, 1,3 Mio. t Kupfer sowie Zink und Kobalt. Sie sollen ausreichen, um die Mine mindestens 24 Jahre in Produktion zu halten, zumal die nachgewiesenen Reserven etwa 257 Mio. t betragen. Der Prozessablauf des Laugungsbergbaus umfasst mehrere Hauptschritte: 1. Tagebau, 2. Zerkleinerung, 3. Haufenlaugung, 4. Metallgewinnung und 5. Entsorgung von wertlosem Metall.

Die Talvivaara-Mine ist ein Tagebau in der Dimension von 56 km^2 ($8 \times 7\text{ km}$), gegliedert in zwei separate Erzkörper, die ca. 3 km voneinander entfernt liegen, Kuusilampi und Kolmisoppi. Sie werden jeweils oberflächennah abgebaut und haben eine ca. 2 m feste Deckschicht mit einem Abfall-/Erzverhältnis von 1:1 bei homogenem Metallvorkommen. Kuusilampi weist bis in eine Tiefe von 600 m eine Lagerstätte auf, während Kolmisoppi bis in eine Tiefe von 300 m verfolgt werden konnte. Die Ressourcen sind relativ groß, aber geringgradig. Die Nickel-Kupfer-Zink-Mineralisierung ist bis zu 90 % in schwarzem Schiefer enthalten. Die Haufenlaugung gilt als kostengünstiges Verfahren, um Metalle aus minderwertigem Erz zu gewinnen. Die Schieferformation hat eine Mächtigkeit von mehreren zehn bis 100 Meter und enthält als Hauptminerale Quarz, Biotit und Sulfide mit Begleitmineralen. Das Biohaldenprojekt von Talvivaara, weltweit das erste für Nickel, ist eine der größten Nickel-Sulfid-Ressourcen in Europa. Kaufmännischer Direktor der Betriebsanlage Terrafame ist Janne Palosaari.

Der Produktionsprozess beginnt in dem Tagebau mit dem Ausfördern der Erze auf schweren LKW-Transportkippern (japanischer Proveni-

enz), die jeweils 15-20 t Erzgewicht aus der Grube aufnehmen können. Das abgebaute Erz wird durch Chushing zerkleinert (80 % $< 8\text{ mm}$), anschließend gesiebt und agglomeriert, um den feinen Erzstaub zu größeren Partikeln zu binden und diesen auf der primären Haldenplatte im Außenbereich zu stapeln. (Abb. 1)

Biolaugung, als mikrobielle Erzlaugung, ist eine biologisch-nasschemische, ökonomisch vorteilhafte Methode zur Gewinnung von Metallen aus mindergradigen Erzen, bei der die Metalle durch bakterielle Einwirkung aus dem Erz ausgelaugt werden. In der Regel handelt es sich um Armerze, die durch konventionelle physikalisch-chemische Verfahren nicht oder nur schwer verarbeitet werden können. Der Auslaugungsprozess erzeugt Wärme und ist daher für subarktische Bedingungen besonders geeignet. Dabei geht es um die Gewinnung von Schwermetallen durch Umwandlung von unlöslichen Erzmineralen zu wasserlöslichen Salzen durch Mikroorganismen (Schwefelmetalle). Wichtigste Akteure sind laugungsaktive Mikroorganismen, die Sulfid und elementaren Schwefel zu Sulfat oxidieren. Nach diesem Prinzip wurde schon im Altertum im Mittelmeerraum Kupfer aus Grubengewässern gewonnen, wie Plinius der Jüngere und Dioskurides berichten. Georg Agricola beschreibt in seinem 1556 erschienen Werk „De re metallica libri XII“ sehr detailliert das Auslaugen alaun- und vitriolhaltiger Lösungen zur Gewinnung von Eisen und Kupfer (S. 489). Historisch belegt ist auch die Kupfergewinnung der Spanier im 18. Jahrhundert am Rio Tinto durch mikrobielle Laugung sulfidischer Kupfererze.



Abb. 2: Abbau im Tagebau (der Kipper hat bereits 15t Ladung aufgenommen). (© Foto: Lorenz Rothe)

In der Natur wird die Biolaugung spontan durch Mikroorganismen in der Einwirkung von Luft und Wasser ausgelöst. Bekannt ist dieses Phänomen bei Biolaugungstechnologien, z.B. bei biologischen Laugungsprozessen zur Gewinnung von Metallen aus Abraumhalden („Remining“) oder Elektronikschrott. Die im Terrafameprozess verwendeten Bakterien wachsen auf natürliche Weise im Erz. Das Unternehmen berichtet von einer hohen Rückgewinnungsrate von bis zu 95 % des Metalls aus dem Erz in der Lösung: 95 % für Nickel, 80 % für Zink und 55-60 % für Kupfer und Kobalt. (Abb. 2)

Der Laugungsbergbau ist an folgende Erfordernisse gebunden:

- Wasser muss in großen Mengen uneingeschränkt verfügbar sein,

- die Erze müssen von Mikroorganismen oxidierbare Stoffe enthalten (z. B. Schwefel bzw. Sulfide) und
- es muss eine kostengünstige Möglichkeit zur Extraktion vorhanden sein, da bei der Laugung Lösungen mit den zu gewinnenden Metallen in geringer Konzentration entstehen.

Bei Terrafame sind diese Voraussetzungen ausreichend vorhanden.

Die Haufen- oder Haldenlaugung, angelegt auf maximal fünf Jahre, wird in zwei Stufen mit einer primären Verweilzeit in der ersten Haldenfläche von bis zu 1,5 Jahren und einer sekundären in der Fläche (nach Umlagerung) von bis zu 3,5 Jahren durchgeführt, insgesamt also auf vier bis fünf Jahre bemessen. Das zerkleinerte Erz leitet ein Transportband auf eine mit Plas-

tik- oder mit Ton beschichtete Plane, die undurchlässig für Wasser ist. Mit diesem Arbeitsschritt werden die weitläufigen Erzlagerflächen im Freien angehäuft (Halden, mit abgestumpften Pyramiden vergleichbar). Durch Belüftungsleitungen wird dem gestapelten Erz mit Niederdruckgebläsen Luft zugeführt, zugleich wird die Halde mit saurer Auslaugungslösung (z. B. Oxalsäure, historischer Name Zuckersäure) von oben bewässert, um die Metalloxide aus dem feinen Erzstaub zu extrahieren. (Abb. 3) Von dem Seitenfluss der Halde werden 10 % zur Metallrückgewinnung abgeführt, während der Rest der Lösung zum Bewässern der Lagerfläche genutzt werden muss. Nach der Biolaugung auf der primären Halde wird das ausgelaugte Erz zurückgewonnen und für eine neue Laugung auf die sekundäre Haldenfläche gestapelt, um die finale Freisetzung der Metalle zu verbessern: es werden der Rest von Nickel und Zink und ein Teil von Kupfer und Kobalt ausgelaugt. Mit Abschluss der Sekundärlaugung bilden diese Halden das Endlager für das ausgelaugte Erz. (Abb. 4)

Bei der Metallrückgewinnung werden die Metalle mit gasförmigem Schwefelwasserstoff aus der übersättigten Laugenlösung ausgefällt. Die Zwischenprodukte kommen zur raffinierten Weiterverarbeitung. Die Verarbeitungsanlage umfasst zwei parallele Kreisläufe, die jeweils auf Auslaugungslösungen angelegt sind (600 m³/h). Jeder Kreislauf besteht aus der Rückgewinnung von Nickel, Kupfer, Kobalt und Zink sowie der Eisen- und Aluminiumentfernung und abschließender Fällung. Die Rückgewinnung von Nickel und Kobalt erfolgt unter der Voraussetzung, dass der pH-Wert der Lösung auf 3,7-4,0 angehoben wird, um das Aluminium aus der Lösung auszufällen. In der Folge entsteht eine große Menge Gips. Dieser Niederschlag wird in Eindickern abgetrennt, der Unterlauf filtriert und auf Halde gelagert. Restlösungen werden in weiteren Schritten bearbeitet. Der Großteil der erhaltenen Lösung kann zur Entsorgung in einen Teich des Prozessleitungssystems (PLS) eingeleitet werden, um den chemischen Ablauf zu steuern.

Mikrobieller Bergbau ist eine umweltfreundliche Alternative zu konventionellen metallurgischen Aufbereitungsprozessen und ermöglicht die Gewinnung von Erz auch aus kleinen Lagerstätten ohne Anfall von erheblichen Abbaumengen bei geringem Energieverbrauch. In verschiedenen Revieren hat das Verfahren der Erzlaugung bereits das Rösten arsenreicher Erze abgelöst. In großem Maßstab wurde es in Kanada zur Gewinnung von Gold, Uran und Kupfer eingesetzt. Uran wird direkt aus Erzen bioextrahiert, in den USA und in Chile wird Kupfer aus sulfidischen Armerzen und in Südafrika seit 1980 Gold durch Biolaugung gewon-

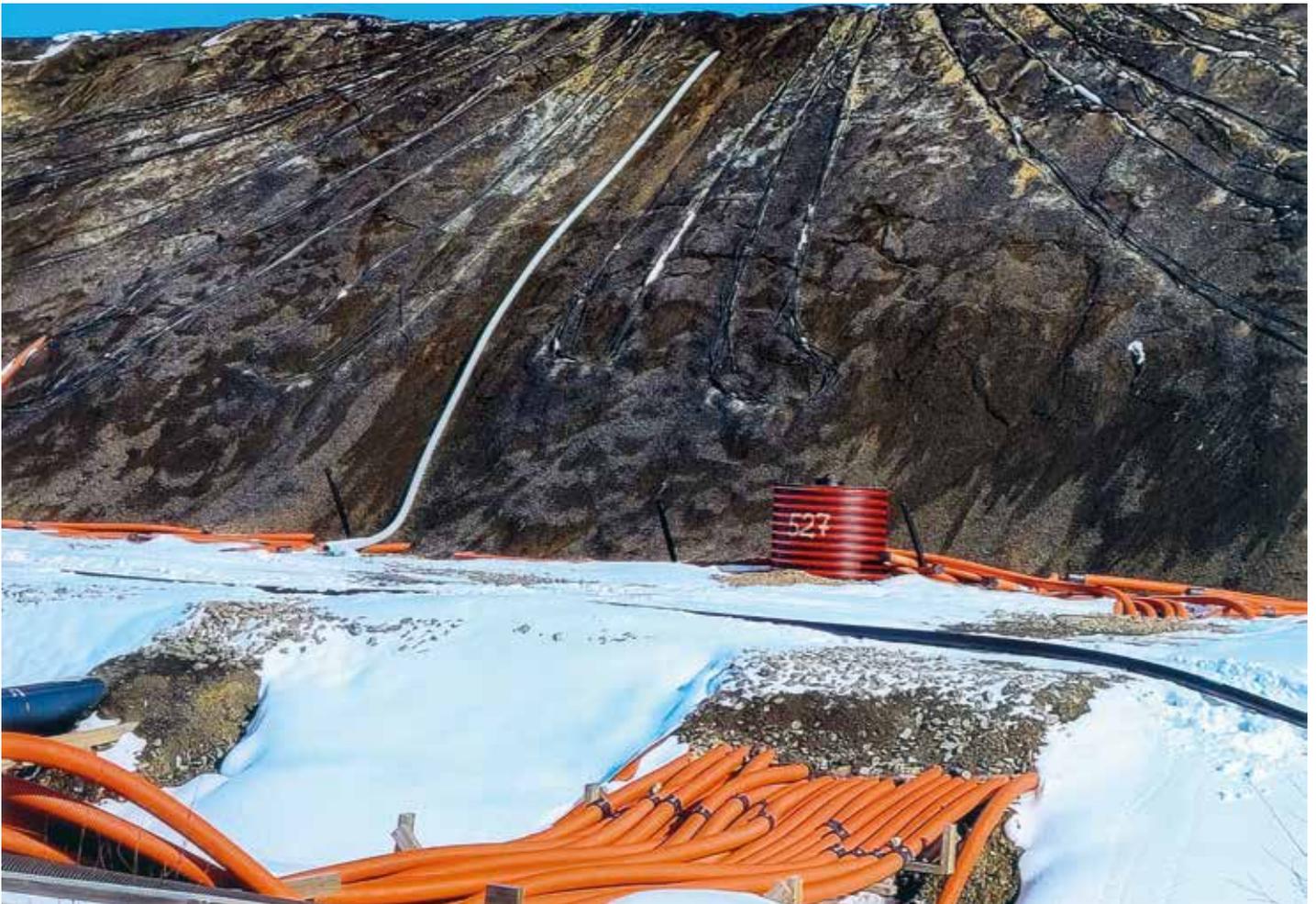


Abb. 3: In die Erzhalden wird Luft eingeblasen, zugleich werden sie mit Produktionslösungen bewässert. (© Foto: Lorenz Rothe)

nen. Zunehmend sollen auch Nickel führende Erzkörper durch Laugungsbergbau abgebaut werden. Für Nickelsulfat gibt es dagegen bisher kein überzeugendes Beispiel für dieses Verfahren, insofern bildet Terrafame eine Orientierungsnorm. (Abb. 5) Anzumerken ist, dass beim Erzrösten Arsen zu Arsentrioxid umgewandelt wird, ein hochgiftiges Produkt, das nur in speziellen Abfallvorrichtungen entsorgt werden kann. Im Erzlaugungsprozess wird Arsen dagegen zusammen mit Eisen in einer stabilen Form ausgefällt und soll auf einer normalen Halde abgelagert werden.

2017 reichte die Terrafame beim finnischen Wirtschaftsministerium einen Antrag für eine Lizenz zur Gewinnung von Uran als Nebenprodukt ein, um mittels Biolaugung Uran aus dem vorhandenen Erz zu gewinnen. Die Urankonzentration gilt als sehr gering: ca. $17 \mu\text{/g}$. Die Kernenergieverordnung definiert einen Urangehalt von Uranerz mit $1.000 \mu\text{/g}$, insofern unterscheidet sich der Strahlungspegel nicht von jeglicher natürlicher Hintergrundstrahlung. Das Uran wird gleichfalls im Biolaugungsverfahren behandelt. Dabei wird ein kleiner Teil des Urans mit Nickel und Kobalt im

Abb. 4: Aufschüttung des Granulats vor der primären Halde. (© Foto: Lorenz Rothe)





Abb. 5: Planierungs- und Drainagearbeiten für eine neue Halde im Freien. (© Foto: Lorenz Rothe)



Abb. 6: Prospekt einer Biohaldenanlage. (© Foto: Lorenz Rothe)

Sulfidprodukt und der größere Anteil im Gipsrückstand ausgefällt. Die Rückgewinnung von Uran wird an den Produktionsprozess von Terrafame durch das Hinzufügen eines Lösungsmittels angepasst, um die Rückgewinnung des Zwischenprodukts Uran, ein Konzentrat von 70-80 % Stoffdichte, genannt Yellowcake („gelber Keks“ aufgrund seiner gelben Farbe), zu erreichen. Entsprechend den übrigen Metallen löst sich das Uran beim Biolaugungsprozess in der Laugungshalde der zweiten Stufe auf. Die Urankonzentration im Abflusswasser soll pro Liter 2,5 µg/l betragen (die Grenze der Umweltgenehmigung liege bei 10 µg/l). Das zurückgewonnene Uran kann für Brennstoffzwecke bei der Kernenergieerzeugung verwendet und auch exportiert werden.

Das eigentliche Verfahren zur wirtschaftlichen Urangewinnung soll, nachdem der Betrieb alle notwendigen Lizenzen erhalten hat, im Sommer/Herbst 2024 beginnen. Wenn die betriebs-

bereite Produktionsanlage voll ausgelastet ist, soll die Uranproduktion des Unternehmens ca. 200 t/a. betragen. Damit könnten bis zu 80 % des finnischen Uranbedarfs gedeckt werden (bei fünf laufenden Kernkraftwerken). In der Betriebsbilanz wird die Urangewinnung derzeit als recht gering veranschlagt (3-4 % des Gesamtumsatzes). Gegenwärtig werden zwei Verfahrensanlagen zur Urangewinnung betrieben. (Abb. 6)

Terrafame hat seinen Betrieb in Übereinstimmung mit seiner Politik der nachhaltigen Entwicklung definiert, die konsequent der Verbesserung der Umweltprobleme verpflichtet ist und die operative Geschäftstätigkeit einschließt. Sicherheitsfragen stehen dabei im Vordergrund, um die Mitarbeiter und das Arbeitsumfeld so gering wie möglich zu belasten oder zu gefährden.

Dr. Hans-Joachim Kraschewski, Marburg

Archäologen erforschen den Zinnbergbau im Erzgebirge Start des deutsch-tschechischen Projektes ArchaeoTin. Archäologie im Welterbe – Zinnbergbaulandschaften

Wurde bereits während der Bronzezeit vor 4.000 Jahren im Erzgebirge Zinn abgebaut und wohin wurde das Zinn verhandelt? Wie müssen wir uns das damalige Klima und die Umwelt im rauen Erzgebirge vorstellen? Diese und weitere Fragen werden in den kommenden drei Jahren mehr als 20 WissenschaftlerInnen der sieben Projektpartner aus Sachsen, Bayern und Tschechien mithilfe multidisziplinärer Untersuchungsmethoden gemeinsam und grenzübergreifend erforschen. Leadpartner ist das Landesamt für Archäologie Sachsen, dessen Montanarchäologen bereits 2018 erstmals bronzezeitlichen Bergbau im Osterz-



„Montanarchäologische Untersuchungen im bronzezeitlichen Abbaureal der Zinnseife bei Schellerhau“. (© Foto: LfA Sachsen, Martin Jehnichen)

gebirge nachweisen konnten. Heute wie damals eine sensationelle Entdeckung in der Archäologie.

Projektleiterin Dr. Christiane Hemker vom Landesamt für Archäologie Sachsen erläutert: „ArchaeoTin untersucht auch die Bedeutung und den Einfluss des erzgebirgischen Zinns auf die kulturelle Entwicklung und Prägung der montanen Kulturlandschaft Erzgebirge zwischen Bronzezeit und Neuzeit. Im Fokus steht der Seifenbergbau auf Zinn in ausgewählten Regionen des sächsisch-böhmischen Erzgebirges, die heute Bestandteile des UNESCO Weltkulturerbes „Montanregion Erzgebirge/ Krušnohoří“ sind“. Die Archäologen gehen dabei möglichst denkmalchonend vor und wenden Methoden wie Fernerkundung (LiDAR), historische Recherchen, Prospektion und archäologische Sondierungen an, die durch naturwissenschaftliche Analysen wie Dendrochronologie, C14-Datierung, Palynologie, Anthrakologie, botanische Makrorestanalyse, Archäometallurgie, Mikromorphologie, Sedi-

mentologie, Mineralogie und Petrographie ergänzt werden.

Wer untersucht was:

Die montanarchäologischen Untersuchungen der Relikte des Seifenbergbaus werden vom Landesamt für Archäologie Sachsen auf sächsischer Seite und vom Institut für archäologische Denkmalpflege Nordwestböhmens in Most auf böhmischer Seite durchgeführt.

Den Einfluss des Zinnbergbaus auf Landschaft und Umwelt wird das Institut für Vor- und frühgeschichtliche Archäologie und Provinzialrömische Archäologie der Ludwig-Maximilians-Universität München untersuchen. Für die Wissenschaftler vom Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik der Technischen Universität Dresden steht die Rekonstruktion der Entwicklung der lokalen Waldzusammensetzung im Fokus der Projektarbeit.

Archäometallurgische Untersuchungen werden die Kollegen vom Institut für Archäologie und Museologie an der Masaryk-Univer-

sität Brünn übernehmen, um die technischen Abläufe und Arbeitsprozesse der Zinngewinnung rekonstruieren zu können.

Die Ergebnisse aus dem Projekt heraus werden in einer gemeinsam vom Museum Zinngrube Ehrenfriedersdorf und dem Regionalmuseum in Teplice entwickelten multimedialen Wanderausstellung zum Zinnbergbau im Erzgebirge präsentiert. Weiterhin sind eine internationale Tagung sowie mehrere Veröffentlichungen vorgesehen.

Das Projekt ArchaeoTin wird mit 3,5 Mio. Euro durch das Programm Interreg Sachsen – Tschechien 2021-2027 aus dem Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

*Dr. Christiane Hemker und Dipl. Arch. Matthias Schubert,
Landesamt für Archäologie Sachsen
Zur Wetterwarte 7
01109 Dresden
christiane.hemker@lfa.sachsen.de;
matthias.schubert@lfa.sachsen.de*